

## Katmanlı Kompozit Silindirik Panellerin Çarpma Yüğü Etkisi Altındaki Davranışı

Çağatay Han Yılmaz ve Halit S. Türkmen  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi  
Maslak, İstanbul

### ABSTRACT

The dynamic behavior of the laminated cylindrical shells are investigated under an impact load. The impact tests are performed on the glass/epoxy laminated composites. The strain in the axial and circumferential directions are measured during the impact. The impact test of the laminated shell is also modeled using the finite element method. ANSYS finite element software is used for this purpose. The numerical and experimental results are compared and found in an agreement. The high stresses are occurred as a result of impact load.

**Keywords :** Cylindrical shell, laminated composite, impact, finite element method, strain measurement.

### ÖZET

Çarpma etkisi altındaki katmanlı silindirik kabukların dinamik davranışı araştırıldı. Cam/epoksi katmanlı kompozitlerin çarpma testleri gerçekleştirildi. Çarpma sırasında eksenel ve çevresel gerinimler ölçüldü. Katmanlı kabuğun çarpma testi aynı zamanda sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellendi. Bu amaçla ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanıldı. Sayısal ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldı ve bir uyum görüldü. Çarpma yükü sonucunda yüksek gerilmeler meydana geldi.

**Anahtar kelimeler :** Silindirik kabuk, katmanlı kompozit, çarpma, sonlu elemanlar yöntemi, gerinim ölçümü.

### 1. GİRİŞ

Eğrisel yüzeyli kompozit panel yapıların çarpma yükü altındaki davranışları mekanikte önemli bir araştırma konusudur. Özellikle uçakların gövde, kanat ve kuyruk yapılarında lamina kompozit malzemelerin kullanımı artmaktadır. Söz konusu uçakların bakım ve tamir işlemleri sırasında küçük tamir aletlerinin, katmanlı kompozit yapılar üzerine

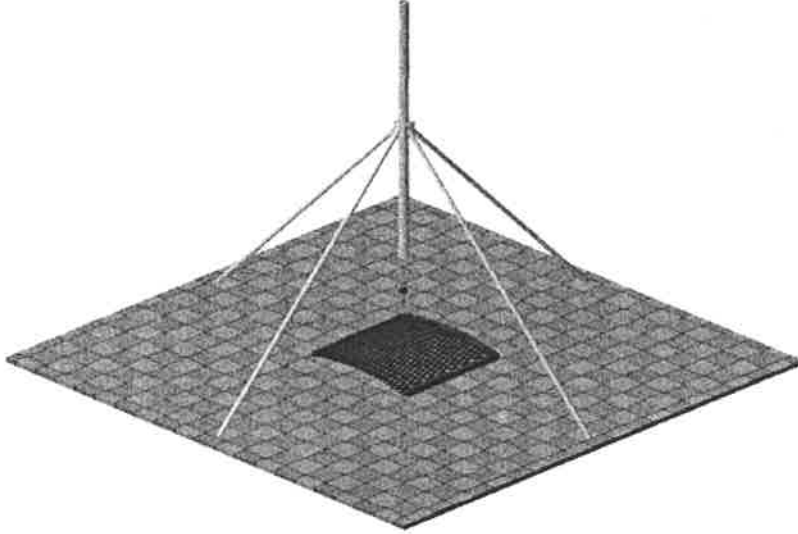
düşürülmesi sonucu önemli hasarlar meydana gelebilmektedir. Bu hasarların bazıları dışarıdan görülemede ve hasarsız kontrol yöntemleri ile ortaya çıkarılabilmektedir. Bu nedenle kompozit panel yapıların çarpma yükü etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi ve önceden tahmin edilebilmesi için sayısal yöntemler geliştirilmesi oldukça önemlidir.

Geçmişte kompozit panellerin çarpma yükü etkisi altındaki davranışları konusunda bazı teorik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Eğrisel, katmanlı kompozit yapıların dinamik davranışları ve çarpma sonucu yapıda oluşan hasarların incelendiği bir araştırmada, yapıların dinamik ve çarpışma sırasındaki davranışlarını tanımlamak, söz konusu yapılar üzerinde çarpma ile oluşacak hasarı tahmin edebilmek için üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi geliştirilmiştir [1]. Söz konusu çalışmada silindirik kompozit kabuk üzerine düşürülen izotropik kürenin temas kuvvetini hesaplamak için modifiye edilmiş Hertzian temas yasası kullanılmıştır. Aynı çarpma hızında, kabuk yapının eğriliği arttıkça maksimum çarpma kuvvetinin de arttığı yapılan deneyler sonucunda gözlemlenmiştir. Silindirik, katmanlı kompozit kabuk yapılarında çarpma etkisi ve hasarının incelendiği bir araştırmada klasik Fourier serisi ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak silindirik, katmanlı kompozit kabuk yapıların çarpmaya cevabı elde edilmiştir [2]. Düşürülen kütle, söz konusu kütle çarpma hızı, kabuk yapının eğriliği gibi parametrelerin yapının çarpmaya cevabı ve çarpma sonucu yapıda oluşan hasar üzerine etkileri parametrik sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bir başka çalışmada düşük hızlı çarpma etkisi altında katmanlı kompozit kabuk yapılar Ansys sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak incelenmiştir [3]. Temas kuvveti modifiye edilmiş Hertz temas yasası kullanılarak hesaplanmıştır. Söz konusu çalışmada silindirik ve küresel kabuk yapılar ile çalışılmıştır, kabuk eğriliği, ankastre veya basit mesnetli sınır şartları, düşürülen kütle hızı gibi çeşitli parametrelerin etkileri incelenmiştir. Sayısal çalışmaların sonunda eğrilik yarıçapı küçük ve ankastre sınır şartlı yapılar daha büyük temas kuvveti ve daha küçük çökme elde edilmiştir. Yapının çarpmaya tepkisinin, düşürülen cismin hızı ile orantılı olduğu belirlenmiştir. Düşük hızlı çarpışmalarda, katmanlı kompozit kabuk yapılar için, çarpma ile oluşan hasarın oluşumu ve yayılımının incelendiği bir çalışmada katmanlar arası gerilme dağılımını ve çatlak ilerlemesini tahmin edebilmek için üç boyutlu, sekiz düğüm noktalı sonlu eleman tipi tanımlanmıştır [4]. Hasar analizi Tsai-Wu quadratik hata ölçütü kullanılarak yapılmıştır. Farklı hasar mekanizmalarını tartışabilmek için düz ve eğri paneller için elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bunun yanında kompozit kabuk yapılarda hasar davranışı üzerine, katman diziliminin, kalınlığın ve eğrilik yarıçapının etkisi incelenmiştir.

## 2. ÇARPMA TESTİ

Bu çalışmada silindirik eğrisel yüzeyi olan kompozit panel yapıların çarpma etkisi altındaki davranışları deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaçla bir deney düzeneği kurulmuştur. Kurulan deney düzeneği Şekil 1'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi dört bacak yardımıyla dikey pozisyonda tutturulan iki ucu açık bir tüp içinden bırakılan bilye, düzeneğin tüpün alt kısmında zemine sabitlenmiş kompozit panel yapıya çarptırılmaktadır. Düzeneğin tabanına sabitlenmiş olan kompozit panele bilyenin tam ortadan çarpması için namlu görevi görecek şekilde düşey bir tüp kullanılmıştır. Çarpma elemanı olarak küresel bir kütle kullanılmıştır. Çarpma serbest düşme sonucu gerçekleşmekte ve böylece çarpma hızı kolaylıkla hesap edilebilmektedir. Burada tüp ve çelik bilye arasındaki muhtemel sürtünmeler ihmal edilmiştir. Çarpma anında kompozit panel üzerinde meydana gelen şekil değişimleri gerinim ölçerler ile ölçülmüş ve gerinim değerleri yüksek hızlı veri toplama sistemi ile

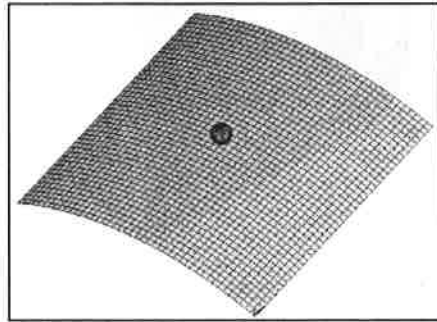
bilgisayara aktarılmıştır. Gerinim ölçme rozeti panelin orta noktasına yapıştırılmıştır. Deneysel farklı çarpma hızlarının etkisini inceleyebilmek amacıyla farklı serbest düşme yükseklikleri için de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Serbest düşme deney düzeneği.

### 3. ÇARPMA TESTİNİN SAYISAL OLARAK MODELLENMESİ

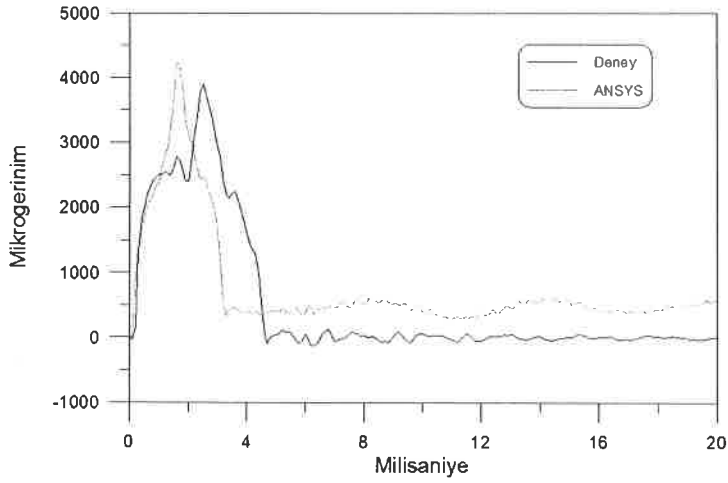
Çarpma deneyinin sayısal modeli sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kurulmuştur. Bu amaçla Ansys sonlu elemanlar yazılımından faydalanılmıştır. Panelin sonlu eleman modeli oluşturulurken kabuk elemanlar kullanılmıştır. Sonlu eleman modeli Şekil 2'de görülmektedir. Kompozit panelin mekanik özellikleri için imalatçıdan alınan bilgiler kullanılmıştır. Kullanılan malzeme olan cam/epoksi için  $E_1=24,14$  GPa,  $E_2=24,14$  GPa,  $\nu_{12}=0,11$  ve  $\rho=1800$  kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Analizlerde panel dört kenarından ankastre olarak tutturulmuştur. Düşen bilye üç boyutlu katı elemanlar ile rijit olarak modellenmiştir.



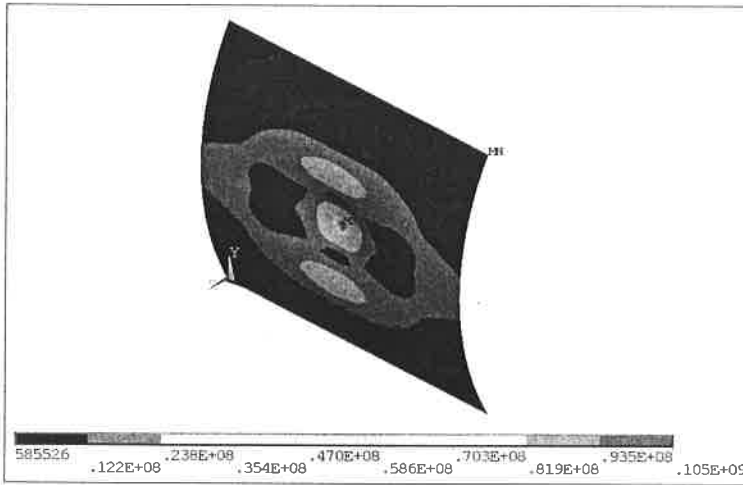
Şekil 2. Düşme testinin sonlu elemanlar modeli.

#### 4. DENEYSEL VE SAYISAL SONUÇLAR

Çarpma sırasında panel orta noktasının geriniminin zaman ile değişimi elde edilmiştir. Sayısal olarak elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3). Sayısal ve deneysel sonuçlar dikkate alınarak hasarın oluşumu hakkında bilgi edinilmiş ve düşme yüksekliği, kompozit malzeme tipi, elyaf yönlenme açısı gibi parametrelerin hasarın oluşumuna etkileri incelenmiştir. Çarpma sırasında katmanlı kabuk yapıda yüksek gerilmeler meydana gelmiştir (Şekil 4).



Şekil 3. Panel orta noktasının serbest düşmeye cevabı (Eksenel yön).



Şekil 4. Panelde Von Mises gerilme dağılımı (N/m<sup>2</sup>).

## KAYNAKLAR

- [1] S. J. Kim, N. S. Goo and T. W. Kim, "The Effect of Curvature on the Dynamic Response and Impact-Induced Damage in Composite Laminates", *Composites Science and Technology*, 51, 763-773, 1997.
- [2] K.S. Krishnamurthy, P. Mahajan, R.K. Mittal, "Impact Response and Damage in Laminated Composite Cylindrical Shells", *Composite Structures*, 59, 15-36, 2003.
- [3] S.C. Her and Y.C. Liang, "The Finite Element Analysis of Composite Laminates and Shell Structures Subjected to Low Velocity Impact", *Composite Structures*, 66, 277-285, 2004.
- [4] G.P. Zhao and C.D. Cho, "Damage Initiation and Propagation in Composite Shells Subjected To Impact", *Composite Structures*, 78, 91-100, 2007.

